

Учреждение образования
«Гомельский государственный политехнический техникум»
Заочное отделение

СОГЛАСОВАНО
Зав. заочным отделением
УО ГГПТ

_____ С. Г. Бондаренко
«_____» _____ 2004

УТВЕРЖДАЮ
Директор УО ГГПТ

_____ А. А. Савицкий
«_____» _____ 2004

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

«Основы промышленной электроники»

Специальность: 2-36 03 31
«Монтаж и эксплуатация электрооборудования»
Группа: ЗМЭ-31С

Составил преподаватель УО ГГПТ
Никулин С.А.

Рассмотрены и одобрены
На заседании цикловой комиссии
Протокол № _____ от _____

Программой предмета "Основы промышленной электроники" предусматривается изучение учащимися устройства, принципа действия, параметров и характеристик радиоэлементов и электронных приборов, типовых узлов, применяемых в системах управления производственными процессами.

В результате изучения предмета учащиеся должны знать:

- важнейшие направления развития и применения промышленной электроники;
- устройство, принцип действия, схемное обозначение, характеристики, область применения элементов электронных устройств, полупроводниковых и фотоэлектрических приборов, интегральных микросхем, приборов для отображения информации;
- принципы построения типовых узлов, применяемых в автоматике, преобразовательной и вычислительной технике;
- пути повышения надежности функционирования устройств с использованием промышленной электроники.

Учащиеся должны уметь:

- собирать схемы для проведения лабораторных работ и выполнять эксперименты по исследованию электронных приборов и устройств;
- обрабатывать результаты лабораторных исследований, анализировать их;
- пользоваться контрольно-измерительными приборами, инструментами при проведении лабораторных работ с учетом требований техники безопасности;
- пользоваться технической и справочной литературой.

Изучение предмета основывается на знаниях, полученных учащимися по общеобразовательным предметам, а также по предметам "Теоретические основы электротехники", "Электротехнические материалы", "Электрические измерения".

В свою очередь данный предмет является базой для изучения профилирующих предметов, выполнения курсового и дипломного проектов.

При изучении учебного материала необходимо соблюдать Международную систему единиц, Единую Систему конструкторской документации, единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими нормами.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений программой предмета предусматривается проведение лабораторных работ и одной контрольной работы.

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ

«Промышленная электроника» относится к числу наиболее важных курсов для подготовки современных специалистов электротехнических специальностей - электриков, электромехаников, энергоэнергетиков и др. В этом курсе, будущие специалисты изучают: основные типы приборов и схем, используемых в электронике; принцип действия и особенности линейных, импульсных и цифровых устройств для обработки сигналов в электронных системах управления и отображения информации; принцип действия и особенности выпрямителей, инверторов и других преобразователей электрической энергии, применяемых в электроприводе, энергоэнергетике и т. д.

Электроника охватывает обширный раздел науки и техники, связанный с изучением и использованием различных физических явлений, а также разработкой и применением устройств, основанных на протекании электрического тока в вакууме, газе и твердом теле. Промышленная электроника является одним из направлений технической электроники, которое связано с применением электронных приборов и устройств в промышленности, на транспорте, в энергоэнергетике.

В свою очередь, в промышленную электронику, обеспечивающую разнообразные виды техники электронными устройствами измерения, контроля, управления и защиты, а также электронными системами преобразования электрической энергии, входят:

1) *информационная электроника*, к которой относятся электронные системы и устройства, связанные с измерением, контролем и управлением промышленными объектами и технологическими процессами;

2) *энергетическая электроника (преобразовательная техника)*, связанная с преобразованием вида электрического тока для целей электропривода, электрической тяги, электротермии, энергоэнергетики.

Промышленная электроника постоянно развивается. Это определяется в первую очередь непрерывным совершенствованием ее элементной базы. Элементная база промышленной электроники прошла несколько этапов развития.

Начало развития промышленной электроники было положено созданием электровакуумных и газоразрядных приборов. Низкая надежность, сложность эксплуатации, большая потребляемая мощность, громоздкость реализации явились в последующем тормозящими факторами расширения областей применения электроники. Электровакуумные приборы в настоящее время находят ограниченное применение в промышленной электронике, а газоразрядные приборы используются преимущественно в виде элементов индикации.

Современный этап развития информационной электроники характеризуется широким использованием компонентов микроэлектроники - аналоговых и цифровых интегральных микросхем, микропроцессоров, микроконтроллеров и др.

Развитие энергетической электроники стимулируется всевозрастающим требованием повышения удельного веса электроэнергии, потребляемой на постоянном токе и на переменном токе нестандартной частоты, а также непрерывным совершенствованием элементной базы (увеличением единичной мощности силовых полупроводниковых приборов, улучшением их динамических показателей, появлением приборов новых типов).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью выполнения учащимися контрольной работы является:

- § закрепление полученных знаний по основным разделам курса предмета;
- § проверка умения учащихся самостоятельно решать поставленные задачи описательного и расчётного характера;
- § выработка умений использования технической и справочной литературы.

Контрольная работа включает в себя пять заданий по основным разделам предмета: два теоретических задания и три задания расчётного характера.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- § контрольная работа выполняется в тетради объёмом 12 - 18 листов;
- § в тетради необходимо оставить поля и место в конце для рецензии проверяющего;
- § внимательно читать требования к содержанию ответа на каждое задание;
- § выполнение заданий может производиться в произвольном порядке;
- § при выполнении расчётов необходимо приводить формулу, а затем вычисления в развёрнутом виде, с указанием размерности получаемых величин;
- § в конце работы обязательно должен быть приведён список используемой литературы;
- § оформление контрольной работы должно быть аккуратным и в соответствии с требованиями ЕСКД;
- § контрольная работа сдаётся не позднее, чем за две недели перед началом сессии или в соответствии с графиком.

**Вариант контрольной работы определяет
номер учащегося по списку в учебном журнале**

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

ЗАДАНИЕ 1 – Элементы электронных устройств

Для создания узлов электронной аппаратуры используются пассивные радиоэлементы (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности), электронные приборы – электровакуумные, ионные, полупроводниковые (диоды, транзисторы, тиристоры, интегральные микросхемы), элементы коммутации и др. Используя эти комплектующие элементы создаются устройства, осуществляющие усиление, генерирование, выпрямление и другие преобразования электрических сигналов.

В соответствии с вариантом (таблица 1.1) кратко опишите четыре типа элементов электронных устройств. Ответ должен включать:

§ для пассивных элементов (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности) и коммутационных устройств – назначение, основные параметры, классификация, условно-графические обозначения;

§ для полупроводниковых приборов (диоды, транзисторы, тиристоры, фотоприборы) – назначение, принцип работы, основные параметры, схема включения, вольтамперная характеристика, условно-графическое обозначение;

§ для интегральных микросхем (ИМС) – определение, классификация, особенности конструкции;

§ для приборов индикации – назначение, принцип работы, достоинства и недостатки по сравнению с другими видами индикаторов.

Таблица 1.1 – Варианты заданий – элементы электронных устройств

№ варианта	Пассивные элементы	Диоды	Транзисторы	Тиристоры и ИМС	Приборы индикации
1	Резисторы	Выпрямительные диоды	Биполярные	Динисторы	Газоразрядные
2	Конденсаторы	Стабилитроны	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Тринисторы	Электронно-лучевые
3	Катушки индуктивности	Варикапы	МДП- со встроенным каналом	Гибридные ИМС	Полупроводниковые
4	Коммутационные устройства	Фотодиоды	МДП- с индуцированным каналом	Полупроводниковые ИМС	Жидкокристаллические
5	Резисторы	Стабилитроны	МДП- со встроенным каналом	Тринисторы	Полупроводниковые
6	Конденсаторы	Выпрямительные диоды	МДП- с индуцированным каналом	Динисторы	Газоразрядные
7	Катушки индуктивности	Фотодиоды	Биполярные	Полупроводниковые ИМС	Жидкокристаллические
8	Коммутационные устройства	Варикапы	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Гибридные ИМС	Электронно-лучевые

9	Резисторы	Варикапы	МДП- со встроенным каналом	Полупроводниковые ИМС	Электронно-лучевые
10	Конденсаторы	Фотодиоды	Биполярные	Гибридные ИМС	Жидкокристаллические
11	Катушки индуктивности	Выпрямительные диоды	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Динисторы	Полупроводниковые
12	Коммутационные устройства	Стабилитроны	МДП- с индуцированным каналом	Тринисторы	Газоразрядные
13	Резисторы	Фотодиоды	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Полупроводниковые ИМС	Жидкокристаллические
14	Конденсаторы	Варикапы	Биполярные	Гибридные ИМС	Полупроводниковые
15	Катушки индуктивности	Стабилитроны	МДП- с индуцированным каналом	Тринисторы	Электронно-лучевые
16	Коммутационные устройства	Выпрямительные диоды	МДП- со встроенным каналом	Динисторы	Газоразрядные
17	Резисторы	Фотодиоды	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Динисторы	Полупроводниковые
18	Конденсаторы	Стабилитроны	Биполярные	Тринисторы	Электронно-лучевые
19	Катушки индуктивности	Варикапы	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Гибридные ИМС	Газоразрядные
20	Коммутационные устройства	Варикапы	МДП- со встроенным каналом	Полупроводниковые ИМС	Жидкокристаллические
21	Резисторы	Выпрямительные диоды	МДП- с индуцированным каналом	Тринисторы	Электронно-лучевые
22	Конденсаторы	Фотодиоды	МДП- со встроенным каналом	Динисторы	Полупроводниковые
23	Катушки индуктивности	Стабилитроны	Биполярные	Полупроводниковые ИМС	Жидкокристаллические
24	Коммутационные устройства	Фотодиоды	Полевые с затвором в виде р-п-перехода	Гибридные ИМС	Газоразрядные
25	Резисторы	Варикапы	МДП- с индуцированным каналом	Полупроводниковые ИМС	Газоразрядные
26	Конденсаторы	Выпрямительные диоды	Биполярные	Гибридные ИМС	Жидкокристаллические
27	Катушки индуктивности	Фотодиоды	МДП- с индуцированным каналом	Динисторы	Полупроводниковые
28	Коммутационные устройства	Стабилитроны	МДП- со встроенным каналом	Тринисторы	Электронно-лучевые
29	Резисторы	Стабилитроны	Биполярные	Полупроводниковые ИМС	Жидкокристаллические
30	Конденсаторы	Выпрямительные диоды	МДП- со встроенным каналом	Тринисторы	Полупроводниковые

ЗАДАНИЕ 2 - Электронные усилители

Общие сведения

Электронные усилители - это устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока и мощности электрического сигнала.

Использование усилителей вызвано тем, что обычно электрические сигналы (напряжения и токи), поступающие в электронные устройства, контроля, управления и преобразования, малы по амплитуде и возникает необходимость увеличивать их до требуемой величины, достаточной для дальнейшего использования (преобразования, передачи, подачи на нагрузку).

Структурная схема усилителя



Источниками входного сигнала могут быть: измерительные датчики, приёмная антенна, микрофон и др.

Нагрузкой могут быть: исполнительные устройства

(электродвигатели, электромагнитные реле и клапаны), передающая антенна, устройства индикации и др.

Мощность, выделяющаяся на нагрузке усилителя, является преобразованной мощностью его источника питания, а входной сигнал только управляет ею.

Классификация усилителей:

- в зависимости от усиливаемого параметра входного сигнала: усилители напряжения, тока, мощности;
- по роду усиливаемых сигналов: усилители гармонических и импульсных сигналов;
- по полосе усиливаемых частот: усилители постоянного и переменного тока (в свою очередь усилители переменного тока делятся на усилители низкой частоты, высокой частоты, сверхвысокой и т.д.);
- по характеру частотной характеристики: резонансные (усиливают сигналы в узкой полосе частот) полосовые (усиливают определенную полосу частот) широкополосные (усиливают весь диапазон частот);
- по числу каскадов усиления: однокаскадные, двухкаскадные, многокаскадные;
- по типу усилительных элементов: на электровакуумных лампах, полупроводниковых приборах, интегральных микросхемах.

Основные параметры усилителей:

- 1) Коэффициенты усиления по мощности, по напряжению, по току (коэффициент усиления сильно зависит от f усиливаемого сигнала);
- 2) Линейные (частотные) искажения (неравномерность усиления в полосе пропускания);
- 3) Нелинейные искажения (искажение формы усиливаемого сигнала);
- 4) Рабочий диапазон частот;
- 5) Чувствительность (наименьшая величина входного сигнала, при которой на выходе создается номинальная мощность);
- 6) Выходная мощность;
- 7) Входное и выходное сопротивление;
- 8) Уровень собственных шумов.

Интегральные операционные усилители

В основном используются интегральные усилители, что объясняется их более высокой технологичностью, надёжностью, дешёвизной и меньшими массогабаритными характеристиками по сравнению с усилителями на дискретных элементах.

Наибольшее распространение получили интегральные операционные усилители (ИОУ), что связано с их универсальностью (возможность построения на их основе различных электронных устройств, причём, как аналоговых, так и импульсных), широким диапазоном частот (усиление сигналов постоянного и переменного токов), независимость основных параметров от внешних дестабилизирующих факторов (изменение температуры, напряжения питания и др.).

Присутствие в названии слова "операционные" объясняется возможностью выполнения данными усилителями ряда математических операций - суммирования, вычитания, дифференцирования, интегрирования и др.

Операционный усилитель (ОУ) представляет собой усилитель постоянного и переменного тока с большим коэффициентом усиления и глубокой отрицательной обратной связью. Обратная связь - это подача части выходного напряжения во входную цепь. За счёт наличия глубокой отрицательной обратной связи коэффициент усиления, свойства и параметры ОУ зависят только от параметров и структуры цепи обратной связи и структуры входной цепи.

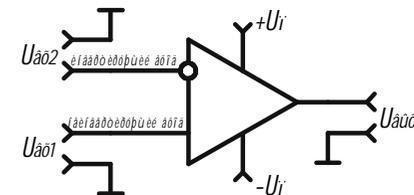


Рисунок 2.1 - Условно-графическое обозначение и основные выводы ИОУ

На рисунке 2.1 изображено условно-графическое обозначение и основные выводы ИОУ. Усилитель имеет два входа (входная цепь ОУ построена на дифференциальном усилителе) и один выход. При подаче входного сигнала на неинвертирующий вход, выходной сигнал той же полярности (фазы) - рис.2.2 а.

При использовании инвертирующего входа фаза выходного сигнала будет сдвинута на 180° по отношению к фазе входного сигнала (полярность изменяется на противоположную) - рисунок 2.2 б.

В случаи использования обоих входов выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений

$U_{\text{вых}} = K(U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}})$, (2.1)
где K - коэффициент усиления.

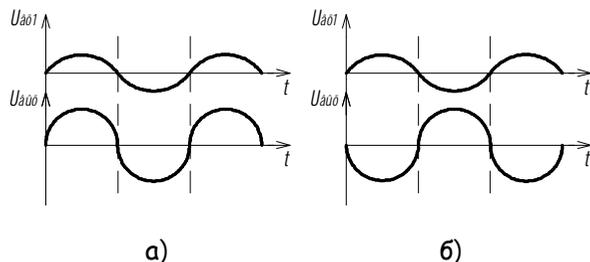


Рисунок 2.2 - Временные диаграммы ОУ
а) $U_{\text{вх}}$ подано на неинвертирующий вход
б) $U_{\text{вх}}$ подано на инвертирующий вход

Питание ОУ осуществляется от двухполярного источника питания, обычно $+15\text{В}$ -15В .

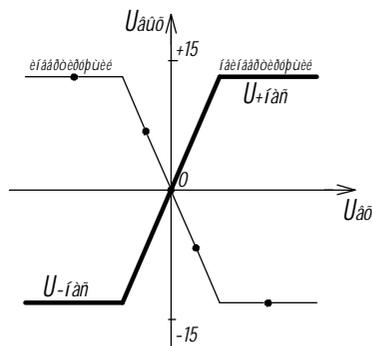


Рисунок 2.3 - Амплитудная характеристика ИО

неизменным при дальнейшем увеличении входного сигнала. Переход усилителя в насыщения приводит к большим нелинейным искажениям (рисунок 2.4), поэтому данный режим используется только в импульсных устройствах на ОУ.

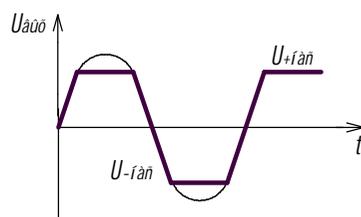


Рисунок 2.4 - Временные диаграммы ОУ в режиме насыщения

Рассмотрим работу ИОУ на основании амплитудной (передаточной) характеристики - рисунок 2.3.

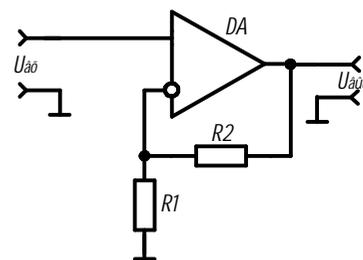
На характеристике можно выделить линейный или рабочий участок, на котором с увеличением входного напряжения пропорционально увеличивается выходное, и два участка насыщения $U_{\text{нас}}^+$ и $U_{\text{нас}}^-$. При определённом значении входного напряжения $U_{\text{вхmax}}$ усилитель переходит в режим насыщения, при котором выходное напряжение принимает максимальное значение (при значении $U_{\text{п}} = 15\text{В}$ примерно $U_{\text{нас}} = 13\text{В}$) и остаётся

При наличии обратной связи на входе усилителя действует входное напряжение и напряжение обратной связи, и коэффициент усиления находится по формуле

$$K = U_{\text{вых}} / U_{\text{y}}, \quad (2.2)$$

где $U_{\text{y}} = U_{\text{вх}} - U_{\text{ос}}$

Отрицательная ОС - напряжение обратной связи имеет противоположную полярность (фазу) по отношению к входному сигналу, и поэтому имеет знак "минус". Т.о. отрицательная обратная связь (ООС) уменьшает коэффициент усиления, но при этом повышает стабильность работы усилителя, уменьшает нелинейные искажения и расширяет полосу пропускания. При глубокой ООС коэффициент усиления зависит только от коэффициента обратной связи, что позволяет избавиться от влияния нестабильности параметров полупроводникового материала, на котором выполняются усилители.



Неинвертирующий усилитель - (рисунок 2.5) не переворачивает фазу входного сигнала. Напряжение ООС через делитель на резисторах $R1$ и $R2$ подаётся на инвертирующий вход. Коэффициент усиления определяется по формуле

$$K = U_{\text{твых}} / U_{\text{твх}} = 1 + R2/R1 \quad (2.3)$$

Рисунок 2.5 - Неинвертирующий усилитель

Для обеспечения заданного коэффициент усиления необходимо задать соответствующие значения $R1$ и $R2$. Значение $R1$ выбирается в диапазоне $2 \div 10 \text{ кОм}$. Задав значение $R1$, определяется значение $R2$. Данные соотношения относятся и к другим типам ОУ.

Инвертирующий усилитель - (рисунок 2.6) не только усиливает входной сигнал, но и инвертирует (переворачивает) фазу сигнала на 180° . Цепь обратной связи выполнена на резисторах $R1$ и $R2$. Коэффициент усиления определяется по формуле

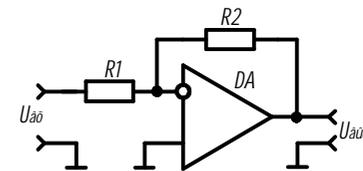


Рисунок 2.6 - Инвертирующий усилитель

$$K = U_{\text{твых}} / U_{\text{твх}} = - R2/R1 \quad (2.4)$$

Знак минус показывает инвертирование фазы (изменение полярности).

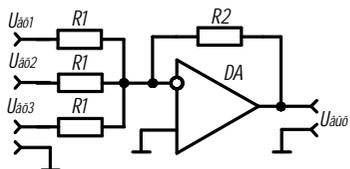


Рисунок 2.7 - Суммирующий усилитель

Суммирующий усилитель - (рисунок 2.7) выполняет операцию сложения с усилением суммы в K раз. При равенстве входных сопротивлений выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{\text{мвых}} = - R2/R1 (U_{\text{мвх1}} + U_{\text{мвх2}} + U_{\text{мвх3}}) \quad (2.5)$$

Сложение входных сигналов происходит с учётом их полярности.

Вычитающий усилитель - (рисунок 2.8) выполняет операцию вычитания двух напряжений с усилением разности в K раз. При условии $R2/R1 = R4/R3$ выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{\text{мвых}} = R2/R1 (U_{\text{мвх2}} - U_{\text{мвх1}}) \quad (2.6)$$

Также с учётом полярности входных напряжений.

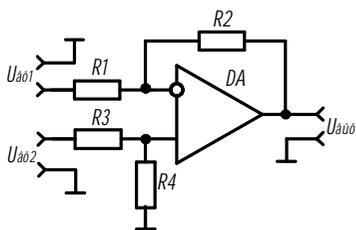


Рисунок 2.8 - Вычитающий усилитель

В соответствии с вариантом (таблица 2.1) выполните следующие задания:

- 1) Начертите схему усилителя заданного варианта;
- 2) Рассчитайте параметры элементов усилителя - сопротивление резисторов $R1, R2$ и коэффициент усиления K ;
- 3) Рассчитайте и постройте амплитудную (передаточную) характеристику усилителя;
- 4) Кратко опишите работу усилителя с использованием временных диаграмм входных и выходного напряжений. Временные диаграммы работы строятся в масштабе по осям напряжения и времени, и синхронно во времени, т.е. друг под другом;
- 5) Постройте АХ и временные диаграммы, отражающие работу усилителя при увеличении сопротивления $R2$ в 2 раза.

Таблица 2.1 - Варианты заданий для расчёта ИОУ

№ варианта	Исходные данные				
	Тип ИОУ	$U_{\text{мвх1}}, \text{В}$	$U_{\text{мвх2}}, \text{В}$	$U_{\text{мвых}}, \text{В}$	$f, \text{кГц}$
1	неинвертирующий	0.8	-	8	2
2	инвертирующий	4.1	-	11.5	1.1
3	суммирующий	2	1.5	10.5	0.5
4	вычитающий	4.3	3	11	0.4
5	неинвертирующий	6	-	12.5	0.3
6	инвертирующий	3.3	-	7.5	0.2
7	инвертирующий	2.5	-	10.5	1.3
8	суммирующий	1.8	1.5	9.8	1.4
9	вычитающий	3.8	1	10	1.5
10	неинвертирующий	3.2	-	8.8	2.6
11	неинвертирующий	3.4	-	9.3	1.6
12	неинвертирующий	2.7	-	7.5	1.8
13	инвертирующий	3.1	-	13	1.7
14	инвертирующий	2.6	-	5.5	1.9
15	суммирующий	2.9	3.1	14	2.1
16	суммирующий	1.7	2.2	12.5	2.3
17	суммирующий	1	2	14	2.4
18	вычитающий	6	2	13	2.2
19	вычитающий	5	2	12	2.5
20	вычитающий	4	1.5	11	2.7
21	неинвертирующий	1.1	-	6	2.8
22	неинвертирующий	1.2	-	7	2.9
23	неинвертирующий	2	-	8	3.1
24	инвертирующий	4	-	10	3.2
25	инвертирующий	5	-	12	3.3
26	инвертирующий	5	-	12	3.3
27	вычитающий	5.5	4	13	3.8
28	суммирующий	1	2	6	3.1
29	суммирующий	1.2	2.5	8	3.4
30	суммирующий	1.4	1.8	9.5	1.7

ЗАДАНИЕ 3 – Электронные генераторы

Общие сведения

Генераторами называются электронные устройства, преобразующие энергию источника постоянного тока в энергию переменного тока (электромагнитных колебаний) различной формы требуемой частоты и мощности.

Генераторы применяются в радиовещании, радиолокации, обработке металлов, для формирования сигналов заданной формы: для питания параметрических датчиков; для аналого-цифровых преобразователей; для микропроцессорных систем и т. д.

Классификация генераторов:

- по форме выходных сигналов: генераторы синусоидальных сигналов, генераторы сигналов прямоугольной формы (мультивибраторы), генераторы сигналов треугольной формы, генераторы сигналов линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) или их еще называют генераторами пилообразного напряжения, сигналов специальной формы;
- по частоте генерируемых колебаний генераторы подразделяют условно на генераторы низкой частоты (до 100 кГц) и генераторы высокой частоты (свыше 100 кГц);
- по способу возбуждения: генераторы с независимым (внешним) возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы).

Условия самовозбуждения генераторов

Для самовозбуждения генераторов сигналов любой формы необходимо наличие цепи положительной обратной связи (ПОС) соответствующей структуры для каждой формы сигнала (рисунок 3.1). Заданная частота колебаний обеспечивается частотозадающей LC или RC-цепью, в которой перезаряд конденсатора происходит во времени с заданной скоростью.

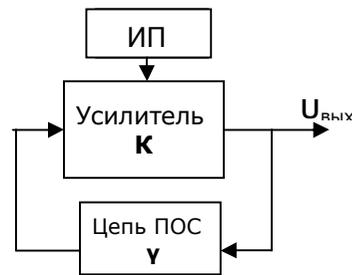


Рисунок 3.1 – Структурная схема генератора

Для возникновения автоколебательного процесса необходимо выполнение двух условий (балансов):

- 1) в генераторе должна быть положительная обратная связь (ПОС), т. е. сигнал, проходя через цепь ПОС, сдвигается по фазе на угол φ , а проходя через усилитель, сдвигается на тот же угол и возвращается на выход усилителя в той же фазе, в какой начинался цикл прохождения сигнала по петле ПОС. Это условие называют балансом фаз.
- 2) сигнал, проходя по цепи ПОС, ослабляется в K раз, а проходя через усилитель, увеличивается в K раз и приходит на выход усилителя с той же самой амплитудой. Это условие называют балансом амплитуд.

Генераторы RC-типа

В генераторах RC-типа для обеспечения заданной частоты f_0 синусоидальных колебаний используют различные RC-цепи, имеющих наибольший коэффициент передачи на резонансной частоте f_0 . При этом f_0 определяется уравнением

$$f_0 = 1/(2\pi RC) \quad (3.1)$$

Для создания генераторов низкой частоты обычно используют ИОУ, в качестве цепи ПОС у которых устанавливают RC-цепи. На рисунке 3.2 приведена схема синусоидального генератора. Для выполнения баланса фаз необходимо, чтобы в усилителе сдвиг по фазе был $\varphi = 0$, а для выполнения баланса амплитуд необходимо установить коэффициент усилителя $K = 1/\gamma = 3$. Для обеспечения сдвига по фазе $\varphi = 0$, цепь ПОС подключена между выходом усилителя и его неинвертирующим входом.

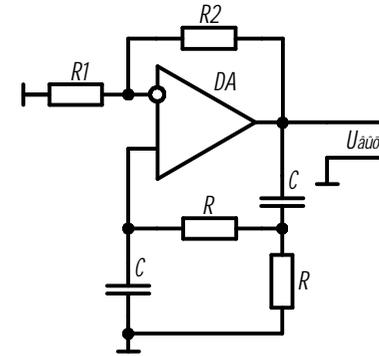


Рисунок 3.2 – RC-генератор. Необходимый коэффициент усиления задается с помощью цепи ООС на резисторах R_1, R_2 .

При упрощенном расчете RC-генератора для заданного значения частоты колебаний f_0 из уравнения (3.1) определяют $t = RC$, затем задаются стандартным значением C (или R), определяют величину $R = t/C$ (или C) и выбирают ближайшее стандартное значение R (или C).

Обычно величину R выбирают в пределах нескольких единиц или нескольких десятков кОм.

Расчет сопротивлений резисторов R_1 и R_2 осуществляют на основе равенства $K = 1 + R_2/R_1$ для неинвертирующего усилителя. Так как $K = 3$, то отношение $R_2/R_1 = 2$. Задаваясь R_1 (единицы-десятки кОм), определяют R_2 .

Мультивибраторы

Мультивибраторы - это генераторы сигналов прямоугольной формы.

На рисунке 3.3 приведена схема симметричного мультивибратора на ИОУ, широко используемого в импульсных устройствах. Симметричный - время импульса равно времени паузы $t_{\text{имп}} = t_{\text{паузы}}$.

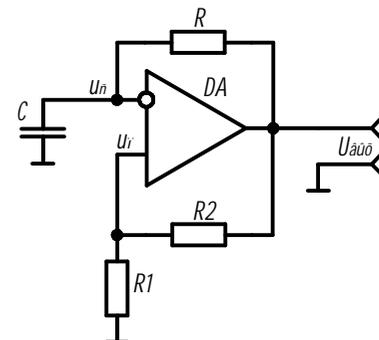


Рисунок 3.3 - Мультивибратор

ИОУ охвачен положительной обратной связью – цепь R1,R2 с коэффициентом передачи γ , действующей одинаково на всех частотах. Входное напряжение мультивибратора формируется при помощи ООС через цепочку RC.

Напряжение на неинвертирующем входе постоянно и равно

$$\pm U_H = \gamma U_{\text{вых}} = \gamma \pm U_{\text{нас}} \quad (3.2)$$

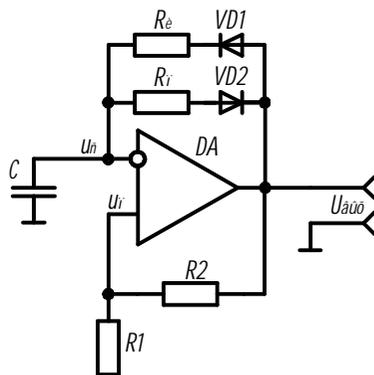
Если напряжение выхода $U_{\text{вых}} = +U_{\text{нас}}$ конденсатор заряжается и напряжение U_c , действующее на инвертирующем входе возрастает по экспоненциальному закону (рисунок 3.4). При равенстве $U_H = U_c$ произойдёт скачкообразное изменение выходного напряжения $U_{\text{вых}} = -U_{\text{нас}}$, что вызовет перезаряд конденсатора. При достижении равенства $-U_H = -U_c$ снова произойдёт изменение состояния $U_{\text{вых}}$.

Процесс повторяется.

Рисунок 3.4 – Временные диаграммы работы мультивибратора

Изменение постоянной времени τ RC-цепи приводит к изменению времени заряда и разряда конденсатора, а значит и частоты колебаний мультивибратора. Кроме того, частота зависит от параметров ТООС и определяется по формуле:

$$f = 1/T = 1/2t_{\text{и}} = 1/[2t \ln(1+2 R1/R2)] \quad (3.3)$$



При необходимости получить несимметричные прямоугольные колебания для $t_{\text{и}} \neq t_{\text{п}}$, используют несимметричные мультивибраторы (рисунок 3.5), в которых перезаряд конденсатора происходит по разным цепочкам с различными постоянными времени.

Рисунок 3.4 – Несимметричный мультивибратор

Для перезаряда конденсатора при $U_{\text{вых}} = +U_{\text{нас}}$ VD2 закрыт и $\tau_{\text{и}} = R_{\text{и}}C$, а для перезаряда конденсатора при $U_{\text{вых}} = -U_{\text{нас}}$ диод VD1 закрыт и $\tau_{\text{п}} = R_{\text{п}}C$. При этом длительности импульса и паузы определяются по формулам:

$$t_{\text{и}} = t_{\text{и}} \ln(1+2 R1/R2) \quad (3.4)$$

$$t_{\text{п}} = t_{\text{п}} \ln(1+2 R1/R2) \quad (3.5)$$

Частота колебаний:

$$f = 1/[(t_{\text{и}} + t_{\text{п}}) \ln(1+2 R1/R2)] \quad (3.6)$$

При расчете симметричного мультивибратора обычно известна требуемая частота f колебаний. Задаваясь отношением $R1/R2 \leq 0.5$, из уравнения (3.3) определяют $\tau = RC$. В свою очередь, задаваясь величиной C (или R), определяют R (или C).

При расчете несимметричного мультивибратора обычно известны длительность импульса $t_{\text{и}}$ и паузы $t_{\text{п}}$. Тогда, определив период T , находят частоту f . Из уравнений (3.4) и (3.5) определяют $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$. Задаваясь значением C , определяют $R_{\text{и}}$ и $R_{\text{п}}$. А из заданного значения $R1/R2 \leq 0.5$, определяют величину $R2$, задаваясь $R1$ (или наоборот). Значения $R1, R2, R_{\text{и}}, R_{\text{п}}$ надо выбирать не менее десятка кОм.

В соответствии с вариантом (таблица 3.1) выполните следующие задания:

- 1) Начертите схему генератора заданного варианта;
- 2) Рассчитайте параметры элементов генератора и коэффициенты цепей ТООС и ООС;
- 3) Кратко опишите работу генератора с использованием временных диаграмм. Временные диаграммы работы строятся в масштабе по осям напряжения и времени, и синхронно во времени, т.е. друг под другом;
- 4) Постройте временные диаграммы, отражающие работу генератора при увеличении сопротивления резистора $R2$ в 2 раза. Проанализируйте работу генератора с изменённым значением сопротивления резистора.

Таблица 3.1 – Варианты заданий для расчёта ИОУ

№ варианта	Исходные данные			
	Тип генератора	$t_{\text{имп}}, \text{В}$	$t_{\text{паузы}}, \text{В}$	$f, \text{кГц}$
1	RC-генератор	-	-	1
2	симметричный мультивибратор	-	-	10
3	несимметричный мультивибратор	2	4	-

4	RC-генератор	-	-	2
5	симметричный мультивибратор	-	-	15
6	несимметричный мультивибратор	1	5	-
7	RC-генератор	-	-	1.5
8	симметричный мультивибратор	-	-	7
9	несимметричный мультивибратор	3	6	-
10	RC-генератор	-	-	0.1
11	симметричный мультивибратор	-	-	20
12	несимметричный мультивибратор	4	8	-
13	RC-генератор	-	-	2.5
14	симметричный мультивибратор	-	-	12
15	несимметричный мультивибратор	4	3	-
16	RC-генератор	-	-	0.5
17	симметричный мультивибратор	-	-	30
18	несимметричный мультивибратор	3	9	-
19	RC-генератор	-	-	3
20	симметричный мультивибратор	-	-	25
21	несимметричный мультивибратор	2	5	-
22	RC-генератор	-	-	2.7
23	симметричный мультивибратор	-	-	18
24	несимметричный мультивибратор	2	6	-
25	RC-генератор	-	-	1.2
26	симметричный мультивибратор	-	-	8
27	несимметричный мультивибратор	1	7	-
28	RC-генератор	-	-	5
29	симметричный мультивибратор	-	-	23
30	несимметричный мультивибратор	5	2	-

ЗАДАНИЕ 4 - Цифровые и логические устройства

При использовании в качестве носителя информации электрических сигналов (напряжений и токов) возможны две формы представления численного значения какой-либо переменной, например, X :

1) в виде одного сигнала – напряжение (ток), которое сравнимо с величиной X (аналогично ей)

например, при $X = 1845$ единиц на вход электронного устройства можно подать напряжение 1,845 В (масштаб представления 0,001 В/ед.) или 9.225 В (масштаб представления 0,005 В/ед.);

2) в виде нескольких сигналов - нескольких напряжений постоянного тока, которые, например, сравнимы с числом единиц в X , числом десятков в X , числом сотен в X и т. д.

Первая форма представления информации называется аналоговой или непрерывной (с помощью сходной величины — аналога). Величины, представленные в такой форме, могут принимать принципиально любые значения в каком-то диапазоне. Количество значений, которые может принимать такая величина, бесконечно велико. Их бесконечно много даже в случае, когда величина изменяется в ограниченном диапазоне, например 0—2000 или 0—0,0001. Отсюда названия - непрерывная величина, непрерывная или аналоговая информация, аналоговые устройства.

Вторая форма представления информации называется цифровой или дискретной (с помощью набора напряжений, каждое из которых соответствует одной из цифр представляемой величины). Такие величины, принимающие не все возможные, а лишь вполне определенные значения, называются дискретными (прерывистыми). В отличие от непрерывной величины количество значений дискретной величины всегда будет конечным.

По сравнению с аналоговым импульсный режим работы имеет ряд значительных преимуществ:

- значительная выходная мощность при малом значении средней мощности из-за отсутствия постоянной составляющей тока, что позволяет уменьшить массу и габариты аппаратуры;

- уменьшение влияния температур и разброса параметров полупроводниковых приборов на работу устройств, так как работа осуществляется в двух режимах: "включено" - "выключено";

- реализация импульсных устройств на однотипных элементах, легко выполняемых методом интегральной технологии.

Цифровые устройства чаще всего работают только с двумя значениями сигналов – нулём "0" (обычно низкий уровень напряжения или отсутствие импульса) и "1" (обычно высокий уровень напряжения или наличие прямоугольного импульса), т.е. информация представляется в двоичной системе счисления. Это обусловлено удобством создания,

обработки, хранения и передачи сигналов, представленных в двоичной системе: ключ замкнут – разомкнут, транзистор открыт – закрыт, конденсатор заряжен – разряжен, магнитный материал намагничен – размагничен и т.д.

Для описания законов функционирования цифровых схем используется алгебра логики или булева алгебра. В основу алгебры логики положено понятие "событие", которое может наступить, либо не наступить. Наступившее событие считается истинным и выражается уровнем логической "1", не наступившее событие считается ложным и выражается уровнем логического "0".

Символы "0" и "1" в алгебре логики характеризуют состояния переменных и состояния их функций. Т.о. логической функцией является функция $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, принимающая значения "0" либо "1". Переменные x_1, x_2, \dots, x_n также имеют значения "0" либо "1".

Любую логическую функцию удобно представить в виде таблицы состояний (таблицы истинности), где записываются возможные комбинации аргументов и соответствующая им функция.

В соответствии с вариантом (таблица 4.1) кратко опишите цифровые и логические устройства. Ответ должен включать:

- § для логических элементов – определение функции, условно-графическое обозначение, таблицу истинности;
- § для триггеров - назначение, условно-графическое обозначение, принцип работы, таблицу состояний;
- § для комбинационных устройств – назначение, условно-графическое обозначение, электрическую принципиальную схему внутренней структуры.

Таблица 4.1 – Варианты заданий – цифровые и логические устройства

№ варианта	Базовые логические элементы	Триггеры	Комбинационные устройства
1	И	RS-	Регистры
2	ИЛИ	D-	Счётчики
3	И-НЕ	T-	Шифраторы
4	ИЛИ-НЕ	JK-	Дешифраторы
5	И	JK-	Регистры
6	ИЛИ	RS-	Дешифраторы
7	И-НЕ	D-	Шифраторы
8	ИЛИ-НЕ	T-	Счётчики
9	И	T-	Счётчики
10	ИЛИ	JK-	Регистры
11	И-НЕ	RS-	Дешифраторы
12	ИЛИ-НЕ	D-	Шифраторы
13	И	D-	Шифраторы
14	ИЛИ	T-	Счётчики
15	И-НЕ	JK-	Регистры
16	ИЛИ-НЕ	RS-	Дешифраторы
17	И	RS-	Дешифраторы
18	ИЛИ	D-	Шифраторы
19	И-НЕ	T-	Счётчики
20	ИЛИ-НЕ	JK-	Регистры
21	И	JK-	Регистры
22	ИЛИ	RS-	Дешифраторы
23	И-НЕ	D-	Шифраторы
24	ИЛИ-НЕ	T-	Счётчики
25	И	T-	Счётчики
26	ИЛИ	JK-	Регистры
27	И-НЕ	RS-	Дешифраторы
28	ИЛИ-НЕ	D-	Шифраторы
29	И	D-	Шифраторы
30	ИЛИ	T-	Счётчики

ЗАДАНИЕ 5 – Выпрямительные устройства

Общие сведения

Выпрямителем называется статическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии переменного тока в постоянный. Необходимость в таком преобразовании возникает, когда питание потребителя осуществляется постоянным током, а источником электрической энергии является источник переменного тока, например промышленная сеть частотой 50 Гц.

Выпрямители классифицируются:

- по числу фаз первичной обмотки трансформатора - однофазные и трехфазные;
- по числу выпрямленных полупериодов - однополупериодные и двухполупериодные;
- по принципу регулирования выпрямленного напряжения - управляемые и неуправляемые;
- по мощности - малой (до сотен ватт), средней (до 5 кВт), большой (свыше 5 кВт).

В настоящее время разработано и применяется на практике много схем выпрямителей однофазного и трехфазного тока. Выбор той или иной схемы определяется свойствами применяемых вентилях (обычно полупроводниковых диодов и тиристоров) и условиями работы выпрямителя.

Рассмотрим работу основных схем выпрямления однофазного и трехфазного тока, предполагая для простоты расчетов параметров и облегчения понимания физической сущности процессов в элементах схем, что выпрямитель работает на активную нагрузку и состоит из идеальных вентилях и трансформаторов, в которых можно пренебречь падениями напряжения, а также обратными токами вентилях, индуктивностями и намагничивающим током трансформатора.

Основными элементами, параметры которых подлежат расчету в схемах выпрямления, являются вентиляхные элементы и трансформатор. Исходными данными при расчете служат выпрямленные напряжения U_d (напряжение в нагрузке U_n) и ток I_d (ток в нагрузке I_n), а также действующее значение напряжения питающей сети U_1 .

Устройство и основные элементы выпрямителей

В общем случае выпрямитель состоит из:

- § силового трансформатора, служащего для получения заданного напряжения на выходе выпрямителя, а также для электрического разделения цепи выпрямленного тока с питающей сетью, что необходимо при заземленной нагрузке;
- § блока вентилях, соединенных по определенной схеме и обеспечивающих протекание тока в цепи нагрузки в одном направлении, в результате чего переменное напряжение преобразуется в

пульсирующее;

- § сглаживающего фильтра, который ослабляет пульсации выпрямленного напряжения в цепи нагрузки;
- § если выпрямитель управляемый, то в него входит система управления вентилями.

Для защиты выпрямителя от повреждений при аварийных режимах в его схему может входить блок защиты и сигнализации, а для поддержания с определенной точностью значения $U_{\text{вых}}$ при изменениях напряжения питающей сети U_c и сопротивления нагрузки R_n — стабилизатор напряжения или тока.

В некоторых случаях в схеме выпрямителя могут отсутствовать отдельные элементы, например фильтр при работе выпрямителя на нагрузку индуктивного характера или силовой трансформатор в случае бестрансформаторного включения выпрямителя, что может иметь место в мостовых схемах выпрямления.

Выпрямители однофазного тока

При небольшой мощности нагрузки (до нескольких сотен ватт) преобразование переменного тока в постоянный осуществляют с помощью однофазных выпрямителей, питающихся от однофазной сети переменного тока. Такие выпрямители предназначены для питания постоянным током различных устройств промышленной электроники, обмоток возбуждения двигателей постоянного тока небольшой и средней мощности и т.д.

Однофазная однопериодная схема выпрямления

Сущность процесса выпрямления рассмотрим на примере простейшей однофазной однопериодной схемы выпрямления. В этой схеме (рисунок 5.1) трансформатор имеет одну вторичную обмотку, напряжение u_2 которой изменяется по синусоидальному закону. Ток в цепи нагрузки проходит только в положительные полупериоды, когда точка a вторичной обмотки, к которой присоединен анод вентиля $V1$, имеет положительный потенциал относительно точки b , к которой через нагрузку присоединен катод.

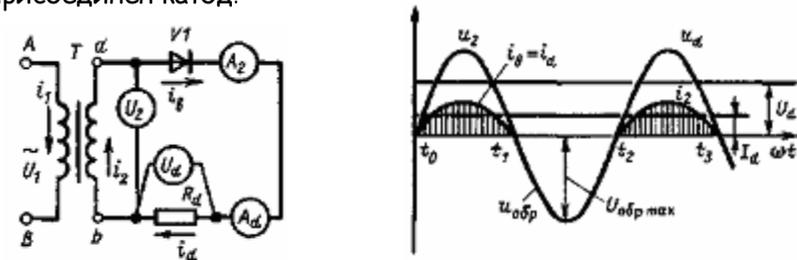


Рисунок 5.1 - Однофазный однополупериодный выпрямитель: схема и диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

В результате напряжение u_2 оказывается приложенным к резистору R_d , через который начинает протекать ток нагрузки i_d .

Поскольку при активной нагрузке ток по фазе совпадает с напряжением, вентиль $V1$ будет пропускать ток до тех пор, пока напряжение u_2 не снизится до нуля. В отрицательные полупериоды (интервал времени $t_1 - t_2$ на рисунке 5.1) к вентилю $V1$ прикладывается все напряжение источника U_2 . Оно является для диода обратным, и он будет закрыт.

Таким образом, на резисторе R_d будет пульсирующее напряжение u_d только одной полярности, т.е. выпрямленное напряжение, которое будет описываться положительными полуволнами напряжения u_2 вторичной обмотки трансформатора T . Ток в нагрузке i_d проходит в одном направлении, но имеет также пульсирующий характер и представляет собой выпрямленный ток.

Выпрямленные напряжения u_d и ток i_d содержат постоянную (полезную) составляющую U_d , I_d и переменную составляющую (пульсацию). Качественная сторона работы выпрямителя оценивается соотношениями между полезной составляющей и пульсациями напряжения и тока. Коэффициент пульсаций данной схемы составляет 1,57.

Для однополупериодной схемы справедливы следующие соотношения между напряжениями, токами и мощностями в отдельных элементах выпрямителя по отношению к соответствующим средним значениям на нагрузке.

Среднее за период значение выпрямленного напряжения при идеальных вентилях и трансформаторе

$$U_d = 0,45 U_2 \quad (5.1)$$

Максимальное значение обратного напряжения на вентиле в непроводящую часть периода

$$U_{обр. max} = \sqrt{2} U_2 = 3,14 U_d \quad (5.2)$$

где U_2 — действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора T .

Среднее значение тока, протекающего через вентиль и нагрузку

$$I_{в. ср} = I_d = I_m / \pi, \quad (5.3)$$

где $I_m = U_m / R_d$ - амплитуда тока цепи.

Действующее значение тока цепи

$$I_2 = I_m / 2 \quad (5.4)$$

Таким образом, в однополупериодной схеме выпрямления среднее значение выпрямленного тока в π раз меньше его амплитуды, а действующее значение — в 2 раза меньше амплитуды тока.

Средняя мощность, отдаваемая в нагрузку, определяется

$$P_d = U_d I_d \quad (5.5)$$

Расчетную (типовую) мощность S_T трансформатора, определяющую его габариты, можно представить как полусумму расчетных мощностей

первичной $S_1 = U_1 I_1$ и вторичной $S_2 = U_2 I_2$ обмоток, т.е.

$$S_T = (S_1 + S_2) / 2 = 3,09 P_d \quad (5.6)$$

Следовательно, расчетная мощность трансформатора, работающего на выпрямитель, больше мощности в нагрузке в 3,09 раза, так как во вторичной обмотке проходит несинусоидальный ток, имеющий постоянную и переменные составляющие, а в первичной обмотке кроме тока основной частоты f_1 токи высших гармоник. По отношению к сети питания эти токи являются реактивными и, не создавая полезной мощности, лишь нагревают обмотки трансформатора выпрямителя. Наличие во вторичной обмотке постоянной составляющей тока I_d увеличивает степень насыщения магнитпровода трансформатора, что вызывает возрастание тока холостого хода, и как следствие этого возникает необходимость в завышении расчетной мощности трансформатора.

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора определяется формулой

$$I_2 = 1,57 I_d \quad (5.7)$$

Действующее значение напряжения вторичной обмотки

$$U_2 = 2,22 U_d \quad (5.8)$$

Действующее значение тока первичной обмотки с учетом коэффициента трансформации трансформатора $n = U_1 / U_2$ равно

$$I_1 = I_2 / n \quad (5.9)$$

Недостатки этой схемы выпрямления следующие: плохое использование трансформатора, большое обратное напряжение на вентилях, большой коэффициент пульсации выпрямленного напряжения. Достоинства выпрямителя: простота схемы и питающего трансформатора; применяется только один вентиль или одна группа последовательно соединенных вентилях.

Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой представлена на рисунке 5.2. Схема состоит из трансформатора T , имеющего одну первичную и две последовательно соединенные вторичные обмотки с выводом общей (нулевой) точки у этих обмоток. Коэффициент трансформации n определяется отношением U_1 / U_2 , где U_2 - напряжение каждой из вторичных обмоток (фазные напряжения), сдвинутые относительно друг друга на 180° .

Свободные концы вторичных обмоток a и b присоединяются к анодам вентилях $V1$ и $V2$, катоды которых соединяются вместе. Нагрузка R_d включается между катодами вентилях, которые являются положительным полюсом выпрямителя, и нулевым выводом O трансформатора, который служит отрицательным полюсом.

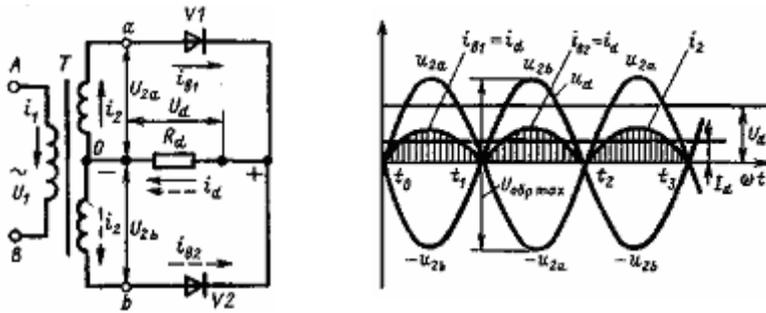


Рисунок 5.2 - Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой: схема и диаграммы напряжений и токов на элементах схемы.

Вентили в этой схеме, как и вторичные обмотки трансформатора, работают поочередно, пропуская в нагрузку ток при положительных значениях анодных напряжений u_{2a} и u_{2b} (рисунок 5.2).

Действительно, при изменении напряжения в точках a и b , в тот полупериод, когда напряжение в обмотке Oa положительно, ток проводит вентиль $V1$, анод которого положителен по отношению к катоду, связанному через резистор R_d с точкой O вторичных обмоток. Анод вентиля $V2$, так же как вывод b обмотки Ob , в этот полупериод (t_0-t_1) отрицателен по отношению к нулевому выводу O и, следовательно, тока не пропускает.

В следующий полупериод (интервал времени t_1-t_2 на рисунке 5.2), когда напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора изменяют свою полярность на обратную, ток будет пропускать вентиль $V2$. В результате к нагрузке R_d будет теперь приложено напряжение u_{2b} , а ток i_d будет равен току i_{b2} вентиля $V2$. Вентиль $V1$ выключится, так как к нему будет приложено обратное напряжение. Спустя полупериод, начиная с момента времени t_2 , процесс повторяется: ток будет проводить вентиль $V1$, а вентиль $V2$ выключится и т.д.

Ток i_d в нагрузке все время течет в одном направлении - от катодов вентиля к нулевой точке O вторичных обмоток трансформатора, и на резисторе R_d появляется выпрямленное пульсирующее напряжение u_d содержащее постоянную и переменную составляющие.

Для однофазной нулевой схемы справедливы следующие соотношения между напряжениями, токами и мощностями в отдельных элементах выпрямителя.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = 0,9U_2, \quad (5.10)$$

где U_2 - действующее значение напряжения на вторичной полуобмотке,

$$U_2 = 1,11 U_d$$

Среднее значение выпрямленного тока в нагрузке

$$I_d = U_d/R_d \quad (5.11)$$

Среднее значение тока через каждый вентиль в 2 раза меньше тока I_d , проходящего через нагрузку, т.е.

$$I_{в.ср} = 0,5I_d \quad (5.12)$$

Действующее значение тока вентиля $I_{в}$ равно действующему значению тока вторичной обмотки трансформатора I_2 и определяется формулой

$$I_2 = 1,57 I_{в.ср} \quad (5.13)$$

Вентиль, не работающий в отрицательную часть периода, оказывается под воздействием обратного напряжения, равного двойному фазному напряжению $2U_2$. Максимальное значение обратного напряжения

$$U_{обр.макс} = 2\sqrt{2}U_2 = 3,14U_d \quad (5.14)$$

Действующее значение тока первичной обмотки с учетом коэффициента трансформации n , выраженное через ток I_d ,

$$I_1 = \sqrt{2} I_2/n = 1,11 I_d/n \quad (5.15)$$

Расчетные мощности обмоток трансформатора определяют по произведениям действующих значений токов и напряжений: $S_1 = U_1 I_1 = 1,23 P_d$ и $S_2 = 2U_2 I_2 = 1,74 P_d$, а типовую мощность — как полусумму мощностей S_1 и S_2 , т.е.

$$S_T = (S_1 + S_2)/2 = 1,48 P_d \quad (5.16)$$

Оценка качества выпрямленного напряжения производится посредством коэффициента пульсации, который представляет собой отношение амплитуды первой (основной) гармонической U_{d1m} , как наибольшей из всех остальных к среднему значению напряжения U_d и определяется по формуле

$$q = U_{d1m} / U_d = 2/(m^2 - 1) \quad (5.17)$$

где m - число фаз выпрямления, т.е. число полуволн выпрямленного напряжения, приходящихся на один период переменного тока, питающего выпрямитель.

Для рассматриваемой схемы частота первой гармоники пульсации $f_{n1} = 2f_c$ при частоте питающей сети $f_c = 50$ Гц составляет 100 Гц. Подставляя в (5.17) $m = 2$, определяем коэффициент пульсации: $q = 0,67$.

Однофазная мостовая схема состоит из трансформатора T с двумя обмотками и четырех диодов $V1 - V4$, соединенных по схеме моста (рисунок 5.3, а). К одной диагонали моста (точки 1,3) присоединяется вторичная обмотка, а в другую (точки 2, 4) включается нагрузка R_d . Общая точка катодов вентиля $V1$ и $V2$ является положительным полюсом выпрямителя, а отрицательным - точка связи анодов вентиля $V3$ и $V4$.

Вентили в этой схеме работают парами поочередно. В положи-

тельный полупериод напряжения u_2 соответствующая полярность которого обозначена без скобок, проводят ток вентили $V1$ и $V3$, а к вентилям $V2$ и $V4$ прикладывается обратное напряжение, и они закрыты. В отрицательный полупериод напряжения u_2 будут проводить ток вентили $V2$ и $V4$, а вентили $V1$ и $V3$ закрыты и выдерживают обратное напряжение $U_{обр} = U_2$.

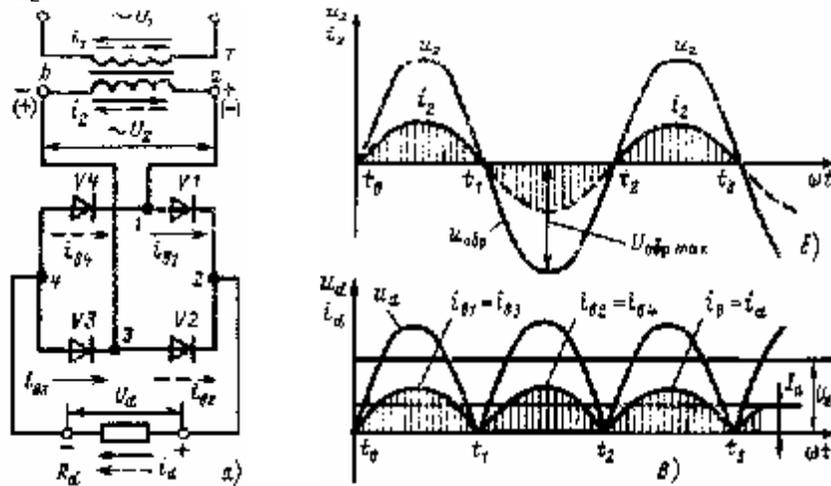


Рисунок 5.3 - Однофазный мостовой выпрямитель:
а - схема включения; б и в — временные диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

Далее указанные процессы периодически повторяются. Диаграммы токов и напряжений на элементах схемы (рисунок 5.3, в) будут такими же, как для однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.

Ток i_d в нагрузке проходит все время в одном направлении — от соединенных катодов диодов $V1$ и $V2$ к анодам диодов $V3$ и $V4$. Ток I_2 во вторичной обмотке трансформатора (рисунок 5.3, б) меняет свое направление каждые полпериода и будет синусоидальным. Постоянной составляющей тока во вторичной обмотке нет. Следовательно, не будет подмагничивания сердечника трансформатора постоянным магнитным потоком. Ток i_1 в первичной обмотке трансформатора также синусоидальный.

Средние значения выпрямленного напряжения U_d и тока $I_{в.ср}$ через вентиль в этой схеме получаются такими же, как и в двухполупериодной схеме с нулевой точкой.

Обратное напряжение, приложенное к закрытым вентилям, определяется напряжением U_2 вторичной обмотки трансформатора, так как не работающие в данный полупериод вентили оказываются присоединенными ко вторичной обмотке трансформатора T через два других работающих вентиля, падением напряжения в которых можно пренебречь.

Следовательно,

$$U_{обр.max} = \sqrt{2}U_2 = 1,57U_d \quad (5.18)$$

Токи во вторичной и первичной обмотках трансформатора определяются по формулам

$$I_2 = U_2/R_d \quad (5.19) \quad I_1 = I_2/n \quad (5.20)$$

Типовая мощность трансформатора

$$S_T = 1,23P_d \quad (5.21)$$

Сравним достоинства двухполупериодных однофазных схем выпрямления.

Однофазная нулевая схема:

- 1) Число вентиля в 2 раза меньше, чем в однофазной мостовой.
- 2) Потери мощности в выпрямителе будут меньше, так как в нулевой схеме ток проходит через один вентиль, а в мостовой - последовательно через два.

Однофазная мостовая схема:

- 1) Амплитуда обратного напряжения на вентилях в 2 раза меньше, чем в нулевой схеме.
- 2) Вдвое меньше напряжение (число витков) вторичной обмотки трансформатора при одинаковых значениях напряжения U_d
- 3) Трансформатор имеет обычное исполнение, так как нет вывода средней точки на вторичной обмотке.
- 4) Расчетная мощность трансформатора на 25% меньше, чем в нулевой схеме, следовательно, меньше расходуется меди и железа, меньше будут размеры и масса.
- 5) Данная схема выпрямителя может работать и без трансформатора, если напряжение сети U_1 подходит по значению для получения необходимого напряжения U_d и не требуется изоляции цепи выпрямленного тока от питающей сети.

Выпрямители трехфазного тока

Питание постоянным током потребителей средней и большой мощности производится от трехфазных выпрямителей, применение которых снижает загрузку вентиля по току, уменьшает коэффициент пульсаций и повышает частоту пульсации выпрямленного напряжения, что облегчает задачу его сглаживания.

Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом (или трехфазная нулевая)

К сети трехфазного тока подключен трансформатор T , три первичные обмотки которого могут быть соединены в звезду или треугольник, вторичные обмотки - только в звезду (рисунок 5.4, а). Свободные концы a, b, c каждой из фаз вторичной обмотки присоединяются к анодам вентилям $V1, V2, V3$. Катоды вентиля соединяются вместе и служат положительным полюсом для цепи нагрузки R_d , а нулевая точка O

вторичной обмотки трансформатора — отрицательным полюсом.

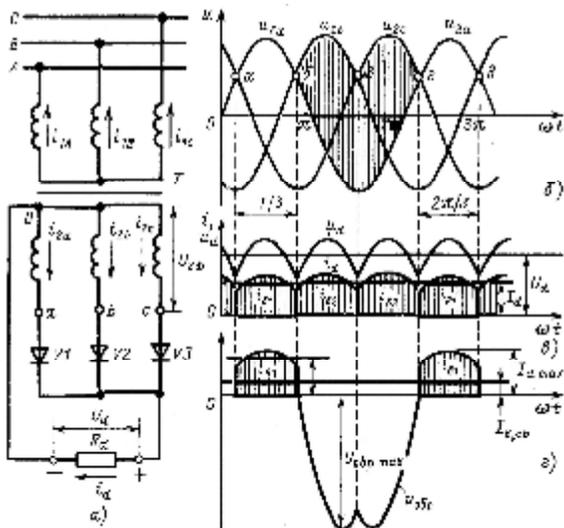


Рисунок 5.4 - Трехфазный выпрямитель с нулевой точкой: а - схема соединения обмоток трансформатора и вентиляй; б - г - диаграммы напряжений и токов на элементах

Из временной диаграммы на рисунок 5.4 видно, что напряжения U_{2a} , U_{2b} , U_{2c} сдвинуты по фазе на одну треть периода ($T/3$ или 120°) и в течение этого интервала напряжение одной фазы выше напряжения двух других фаз относительно нулевой точки трансформатора.

Ток через вентиль, связанную с ним вторичную обмотку и нагрузку будет протекать в течение той трети периода, когда напряжения в данной фазе больше, чем в двух других. Работающий вентиль прекращает проводить ток тогда, когда потенциал его анода становится ниже общего потенциала катодов, и к нему прикладывается обратное напряжение.

Переход тока от одного вентиля к другому (коммутация тока) происходит в момент пересечения кривых фазных напряжений (точки а, б, в и г на рисунке 5.4, б). Выпрямленный ток i_d проходит через нагрузку R_d непрерывно (рисунок 5.4, в).

Напряжение u_d на выходе выпрямителя в любой момент времени равно мгновенному значению напряжения той вторичной обмотки, в которой вентиль открыт, и выпрямленное напряжение представляет собой огибающую верхушек синусоид фазных напряжений $u_{2\phi}$ трансформатора T .

Следовательно, анодный ток будет иметь форму прямоугольника с основанием $T/3$, ограниченного сверху отрезком синусоиды. На рисунке 5.4, г изображен ток фазы а, токи фаз б и с изображаются подобными кривыми, сдвинутыми на 120° относительно друг друга.

Для трехфазной нулевой схемы выпрямления характерны следующие соотношения между напряжениями, токами и мощностями в отдельных элементах выпрямителя.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = 1,17U_{2\phi}, \quad (5.22)$$

где $U_{2\phi}$ — действующее значение фазного напряжения на вторичной

обмотке трансформатора.

Выпрямленное напряжение u_d содержит постоянную составляющую U_d и наложенную на нее переменную составляющую, имеющую трехкратную частоту по отношению к частоте сети. Коэффициент пульсаций напряжения на выходе выпрямителя

$$q = 2/(m^2 - 1) = 2/(3^2 - 1) = 0,25 \quad (5.23)$$

Обратное напряжение $U_{обр}$ приложенное к неработающему вентилю, равно междуфазному (линейному) напряжению вторичных обмоток трансформатора, так как анод закрытого вентиля присоединен к одной из фаз, а катод через работающий вентиль присоединен к другой фазе вторичной обмотки T . На рисунок 5.4, г показана кривая обратного напряжения $U_{обр}$ между анодом и катодом вентиля $V1$.

Максимальное значение $U_{обр}$ равно амплитуде линейного напряжения на вторичных обмотках трансформатора, т.е.

$$U_{обр.max} = \sqrt{3} \sqrt{2} U_{2\phi} = 2,09U_d \quad (5.24)$$

Каждый вентиль в данной схеме работает 1 раз за период в течение $T/3$. Следовательно, среднее значение тока через вентиль в 3 раза меньше тока нагрузки, т.е.

$$I_{в.ср} = (1/3)I_d \quad (5.24)$$

Действующее значение токов во вторичной обмотке I_2 и вентиля $I_{в.д}$ определяется формулой

$$I_2 = I_{в.д} = \sqrt{3}I_{в.ср} = 0,585 I_d \quad (5.25)$$

Таким образом, в данной схеме токи вторичных обмоток имеют пульсирующий характер и содержат постоянные составляющие.

Среднее значение тока через каждый вентиль в 3 раза меньше тока I_d

$$I_{в.ср} = 0,33I_d \quad (5.26)$$

При одинаковом числе фаз первичной и вторичной обмоток трансформатора и одинаковых схемах соединения обмоток (звезда-звезда) действующее значение первичного фазного тока I_1 меньше приведенного значения вторичного фазного тока I_2 , так как в кривой тока первичной обмотки отсутствует постоянная составляющая, которая не трансформируется, т.е.

$$I_1 \approx 1/n \cdot 0,47I_d \quad (5.27)$$

Поочередное прохождение однонаправленных токов по вторичным обмоткам трансформатора, которые не полностью компенсируются токами первичной обмотки, создает в стержнях сердечника поток Φ_0 одного направления, значение которого составляет 20—25% основного магнитного потока Φ_b трансформатора и который изменяется с тройной частотой в соответствии с пульсацией анодного тока. Наличие потока однонаправленного или вынужденного подмагничивания Φ_0 в сердечнике приводит к увеличению тока холостого хода, в результате чего

сердечник трансформатора насыщается, а в стальной armатуре возникают дополнительные тепловые потери. Помимо насыщения сердечника трансформатора такой поток приводит к значительному возрастанию падения напряжения в обмотках, что вызывает резкое уменьшение среднего значения выпрямленного напряжения.

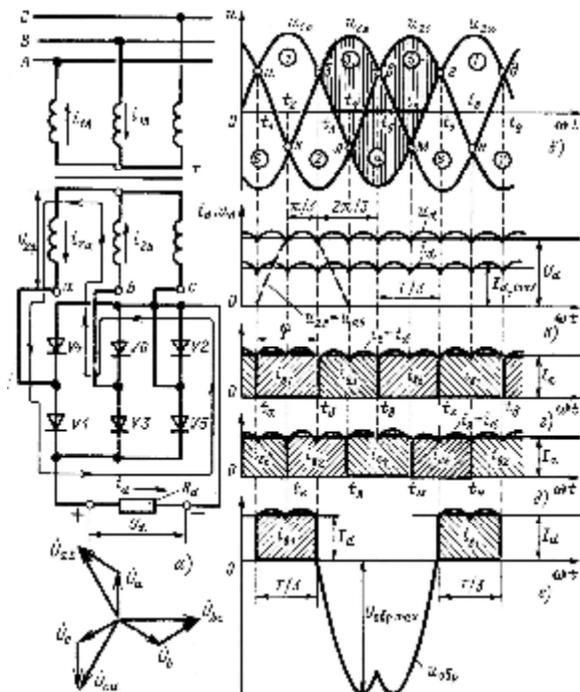
Устранить эти нежелательные явления можно либо увеличением сечения сердечника трансформатора, а следовательно, и типовой мощности трансформатора, либо уменьшением амплитуды основного потока Φ_B . При заданной мощности трансформатора это приводит к увеличению размеров магнитной системы и влечет за собой повышение не только массы стали, но и массы обмоток трансформатора, поскольку с повышением периметра сечения сердечника растет и средняя длина витка у обмоток.

Типовая мощность трансформатора при соединении вторичных обмоток в звезду

$$S_T = (S_1 + S_2) / 2 = 1,35P_d \quad (5.28)$$

Трехфазная мостовая схема выпрямления

Выпрямитель в данной схеме состоит из трансформатора, первичные и вторичные обмотки которого соединяются в звезду или треугольник, и шести диодов, которые разделены на две группы (рисунок 5.5, а):



1) катодную, или нечетную (диоды $V1, V3$ и $V5$), в которой электрически связаны катоды вентилей и общий вывод их является положительным полюсом для внешней цепи, а аноды присоединены к выводам вторичных обмоток трансформатора;

2) анодную, или четную (диоды $V2, V4$ и $V6$), в которой электрически связаны между собой аноды вентилей, а катоды соединяются с анодами первой группы.

Рисунок 5.5 - Трехфазная мостовая схема выпрямителя:
а - схема соединения элементов;
б - в - временные диаграммы напряжений и токов

Общая точка связи анодов является отрицательным полюсом для внешней цепи. Нагрузка подключается между точками соединения катодов и анодов вентилей, т.е. к диагонали выпрямленного моста.

Катодная группа вентилей повторяет режим работы трехфазной нулевой схемы. В этой группе вентилей в течение каждой трети периода работает вентиль с наиболее высоким потенциалом анода (рисунок 5.5, б). В анодной группе в данную часть периода работает тот вентиль, у которого катод имеет наиболее отрицательный потенциал по отношению к общей точке анодов.

Вентили катодной группы открываются в момент пересечения положительных участков синусоид (точки а, б, в и г на рисунке 5.5, б), а вентили анодной группы - в момент пересечения отрицательных участков синусоид (точки к, л, м и н). Каждый из вентилей работает в течение одной трети периода ($T/3$, или $2\pi/3$).

При мгновенной коммутации тока в трехфазной мостовой схеме в любой момент времени проводят ток два вентиля — один из катодной, другой из анодной группы, при этом любой вентиль одной группы работает поочередно с двумя вентилями другой группы, соединенными с разными фазами вторичной обмотки (рисунок 5.5, г и д). Иными словами, проводить ток будут те два накрест лежащих вентиля выпрямительного моста, между которыми действует в проводящем направлении наибольшее линейное напряжение $u_{2л}$. Например, на интервале времени $t_1 - t_2$ ток проводят вентили $V1, V6$, на интервале $t_2 - t_3$ — вентили $V1, V2$, на интервале $t_3 - t_4$ - вентили $V3, V2$ и т.д. Таким образом, интервал проводимости каждого вентиля составляет $2\pi/3$, или 120° (рисунок 5.5, е), а интервал совместной работы двух вентилей равен $\pi/3$, или 60° . За период напряжения питания $T = 2\pi$ происходит шесть переключений вентилей (шесть тактов), в связи с чем такую схему выпрямления часто называют шестипульсовой.

Следует отметить, что нумерация вентилей в данной схеме не носит случайный характер, а соответствует порядку их вступления в работу при условии соблюдения фазировки трансформатора, указанной на рисунке 5.5, а. Через каждую фазу трансформатора ток i_2 будет проходить в течение $2/3$ периода: $1/3$ периода — положительный и $1/3$ — отрицательный. Ток i_d в нагрузке все время проходит в одном направлении. Контур тока нагрузки при открытых вентилях $V1$ и $V6$ показан на схеме рисунке 5.5, а тонкой черной линией.

Выпрямленное напряжение u_d в этой схеме описывается верхней частью кривых междуфазных (линейных) напряжений (рисунок 5.5, е). Частота пульсаций кривой u_d равна $6f_1$, коэффициент пульсаций напряжения на выходе выпрямителя

$$q = 2 / (m^2 - 1) = 2 / (6^2 - 1) = 0,25 = 0,057 \quad (5.29)$$

Обратное напряжение на закрытом вентиле определяется разностью потенциалов его катода и анода. Максимальное значение обратно-

го напряжения на вентиле в трехфазной мостовой схеме равно амплитуде линейного напряжения вторичной обмотки трансформатора, т.е. $U_{обр.max} = \sqrt{2} U_{2л} = 1,05 U_d$. При открытом состоянии двух вентилях выпрямительного моста другие четыре вентиля закрыты приложенным к ним обратным напряжением. Выпрямленный ток i_d при работе на чисто активную нагрузку полностью повторяет кривую напряжения u_d .

Напряжение на нагрузке по сравнению с трехфазной схемой с нулевым выводом получается вдвое большим. Это объясняется тем, что трехфазная мостовая схема выпрямителя представляет собой как бы две трехфазные схемы с нулевым выводом, выходы которых включены последовательно. Это сокращает число витков вторичных обмоток трансформатора и снижает требования к изоляции.

$$U_2 = \pi/3\sqrt{6} = 0,425U_d \quad (5.30)$$

Среднее значение тока через каждый вентиль в 3 раза меньше тока I_d

$$I_{в.ср} = 0,33I_d \quad (5.31)$$

Токи во вторичной и первичной обмотках трансформатора определяются по формулам

$$I_2 = I_{в.д} = \sqrt{(2/3)} = 0,585I_d \quad (5.32) \quad I_1 = I_2/n \quad (5.33)$$

Типовая мощность трансформатора

$$S_T = \pi/3 P_d = 1,045P_d \quad (5.34)$$

В соответствии с вариантом (таблица 5.2) выполните следующие задания:

- 1) Начертите схему выпрямления заданного варианта;
- 2) Рассчитайте значения напряжений, токов и мощностей на элементах схемы выпрямления, указанных в таблице 5.1 и заполните эту таблицу;
- 3) Постройте временные диаграммы напряжения вторичной обмотки трансформатора и тока, напряжения в нагрузке. Временные диаграммы строятся в масштабе по осям напряжения, тока и синхронно во времени, т.е. друг под другом;
- 4) В соответствии с полученными данными выберите по справочнику тип выпрямительного диода и занесите его параметры в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Расчёт выпрямительных устройств

Исходные данные			Рассчитать								
U_d , В	I_d , А	U_1 , В	R_d , Ом	U_2 , В	$U_{обр.max}$, В	$I_{в.ср}$, А	I_2 , А	I_1 , А	n	P_d , Вт	S_T , В·А
Тип диода			$I_{пр.ср}$, А		$U_{обр.max}$, В		$U_{пр.ср}$, В		$I_{обр.ср}$, А		

Таблица 5.2 – Варианты заданий – выпрямительные устройства

№ варианта	Исходные данные			
	Схема выпрямления	U_d , В	I_d , А	U_1 , В
1	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом	220	10	380
2	Трехфазная мостовая схема выпрямления	127	8	220
3	Однофазная мостовая схема	42	2	127
4	Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой	220	0,5	42
5	Однофазная одноконтурная схема выпрямления	12	0,3	24
6	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом	380	5	660
7	Трехфазная мостовая схема выпрямления	220	15	380
8	Однофазная мостовая схема	5	4	24
9	Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой	220	1,5	127
10	Однофазная одноконтурная схема выпрямления	127	0,1	42
11	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом	1000	1	500
12	Трехфазная мостовая схема выпрямления	380	7	220
13	Однофазная мостовая схема	36	2	42
14	Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой	5	4	36
15	Однофазная одноконтурная схема выпрямления	12	3	127
16	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом	660	2	380
17	Трехфазная мостовая схема выпрямления	127	20	660
18	Однофазная мостовая схема	12	1	220
19	Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой	220	0,2	12
20	Однофазная одноконтурная схема выпрямления	12	5	36
21	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом	42	25	220
22	Трехфазная мостовая схема выпрямления	1000	3	500
23	Однофазная мостовая схема	24	10	36
24	Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой	5	15	220
25	Однофазная одноконтурная схема выпрямления	3	7	12
26	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом	220	4	660
27	Трехфазная мостовая схема выпрямления	380	10	380
28	Однофазная мостовая схема	220	0,4	12
29	Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой	3	8	24
30	Однофазная одноконтурная схема выпрямления	12	0,9	220

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В.И., Пелевин Е.В.
Промышленная электроника и микроэлектроника. – Минск, 2000.
2. Забродин Ю.С.
Промышленная электроника – М. Высшая школа, 1982
М., 1990.
3. Жеребцов И.Т.
Основы электроники - Л. «Энергоиздат», 1990
4. Герасимов В.Г.
Основы промышленной электроники – М. «В.ш.», 1986
5. Криштафович А.К.
Промышленная электроника – М. «В.ш.», 1984 г
6. Горбачёв Г.Н., Чаплыгин Е.Е.
Промышленная электроника - М. «Энергоиздат», 1988

При составлении заданий 2, 3 были использованы материалы из практического пособия «Электроника и микропроцессорная техника» - ГГТУ им. Сухого, 2002

При составлении задания 5 были использованы материалы из книги Преображенского В.И. «Полупроводниковые выпрямители» - М. «Энергоиздат», 1986

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

1. Резисторы
2. Конденсаторы
3. Моточные изделия (катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы)
4. Коммутационные устройства
5. Основные свойства полупроводников. Беспереходные полупроводниковые приборы
6. Электронно-дырочный переход
7. Полупроводниковые диоды
8. Выпрямительные диоды
9. Биполярные транзисторы
10. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора. Определение h -параметров.
11. Полевые транзисторы. Полевой транзистор с затвором в виде р-п-перехода.
12. МДП – транзисторы со встроенным каналом
13. МДП – транзисторы со индуцированным каналом
14. Тиристоры
15. Полупроводниковые фотоэлектронные приборы
16. Оптоэлектронные приборы
17. Интегральные микросхемы. Гибридные ИМС
18. Полупроводниковые ИМС
19. Общая характеристика приборов и устройств индикации. Газоразрядные и вакуумно-люминесцентные индикаторы
20. Электронно-лучевая трубка
21. Полупроводниковые и жидкокристаллические индикаторы
22. Общая характеристика электронных усилителей
23. Построение усилительного каскада
24. Усилители синусоидальных сигналов
25. Усилителей мощности
26. Широкополосные и импульсные усилители
27. Многокаскадные усилители
28. Усилители постоянного тока
29. Дифференциальный усилитель
30. Операционные усилители
31. Электронные устройства на ОУ
32. Общая характеристика электронных генераторов
33. LC - и RC - автогенератора
34. Генераторы с внешним возбуждением
35. Общая характеристика импульсных устройств
36. Электронные ключи и формирователи импульсных сигналов
37. Алгебра логики. Логические функции

